

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ХЛЕВНЮК ДЕНИС ВІКТОРОВИЧ**



**УДК 622.235:624.139.329**

**РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ СЕЙСМІЧНОГО ЕФЕКТУ  
КОРОТКОСПОВІЛЬНЕНОГО ПІДРИВАННЯ У КАР'ЄРАХ ДЛЯ  
СЕЙСМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НАВКОЛИШНІХ  
БУДІВЕЛЬ І СПОРУД**

**Спеціальність 05.15.03– відкрита розробка родовищ корисних копалин**

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**Київ – 2020**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в науково-дослідній лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів Інституту гідромеханіки Національної академії наук України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**БОЙКО Віктор Вікторович,**  
Інститут гідромеханіки НАН України, завідувач науково-дослідної лабораторії з проблем сейсмічної безпеки технологічних вибухів

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук  
**ВОЙТЕНКО Юрій Іванович,**  
Український державний геологорозвідувальний інститут Міністерства екології та природних ресурсів України, головний науковий співробітник

кандидат технічних наук, доцент  
**ШЛАПАК Володимир Олександрович,**  
Державний університет «Житомирська політехніка», доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. професора М.Т. Бакка .

Захист відбудеться « 01\_ » жовтня 2020 р. о 16 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.22 в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 511.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03057, Україна, м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий « 1 » вересня 2020 р.

**Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради**

**В.В. Вапнічна**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вибухові роботи, що проводяться на гірничих підприємствах і при будівництві, пов'язані з їх негативною сейсмічною дією на навколишнє середовище.

В сучасний час, коли потужність підричних робіт постійно зростає, удосконалення способів підвищення рівня безпеки останніх має першочергове значення.

У виробничій сфері постійно ведеться удосконалення технологічних процесів, направлених на підвищення ефективності підричних робіт і одночасно на мінімізацію сейсмічного впливу вибухових робіт на об'єкти, що охороняються.

Одним із прогресивних методів в цьому напрямку є короткосповільнене підричання (КСП), при якому в останній час застосовують неелектричну систему ініціювання зарядів типу Nonel, що дозволяє варіювати величинами сповільнення в широких межах і переходити на посвердловинне ініціювання зарядів. На превеликий жаль, часовий розкид спрацювання сповільнюючих пристроїв властивий і для цієї прогресивної системи. Точність сповільнювачів залежить від багатьох факторів: дотримання технологічного процесу виготовлення, однорідності і чистоти сповільнюючого складу, умов транспортування і зберігання детонаторів, тощо.

На підприємствах не ведеться систематичного аналізу схем підричання минулих масових вибухів (МВ) і підричники не знають реальних часових відхилень сповільнювачів в елементах підричної мережі, що призводить до помилки у розрахунках мережі підричання і як підсумок – до несанкціонованого підричання більшої кількості свердловинних зарядів, що передбачено проектом вибуху, і певна річ, відбувається непрогнозоване підвищення сейсмічного ефекту вибуху.

Наступним не вирішеним завданням щодо оцінки сейсмічного ефекту вибухових робіт у кар'єрах в нинішній час є підричання окремих свердловинних зарядів, які створюють умови максимального складення хвилевих коливань і які визначають сейсмічну дію короткосповільнених масових вибухів через представлення заряду окремої групи зарядів не як розосередженого заряду, а як зосереджену масу, що не відображає фізичну суть КСП.

І якщо при такій створеній ситуації визначення сейсмобезпечних параметрів МВ відбувається за результатами моніторингу дії вибуху одиничних і групових свердловинних зарядів з використанням сейсмометричної апаратури, то з допомогою певних емпіричних коефіцієнтів можливо вийти на рівень придатних результатів. При відсутності сейсмометричних вимірів значення емпіричних коефіцієнтів, які залежать як

від фізико-механічних властивостей ґрунту по профілю розповсюдження сейсмічних хвиль та біля об'єктів, що охороняються, так і від кількості окремих свердловинних зарядів вибухової речовини (ВР) в мережі КСП, які взаємодіючи створюють небезпечні умови суперпозиції хвилевих потоків, можливо визначити тільки з великою похибкою.

У зв'язку з цим дослідження сейсмічного ефекту КСП за результатами моніторингу МВ з використанням сейсмометричної апаратури з урахуванням розкиду часу поверхневих і внутрішньо свердловинних детонаторів та наявності у докільці перешкод сейсмічного походження направлені на уточнення максимально допустимої маси ВР в розрахунках мережі для монтажу системи ініціювання на блоках, що підривають у кар'єрах та які забезпечать сейсмобезпеку навколишніх будівель і споруд, є **актуальною** науково - практичною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наведені у роботі результати дослідження пов'язані з науково-дослідними темами Інституту гідромеханіки НАН України: «Дослідження, формування і розповсюдження динамічних збурень різної природи в середовищах та їхня взаємодія з поверхневими природними та інженерними об'єктами» (2006–2010 р. р., № ДР 0107U000247); «Дослідження хвильових процесів при дії вибухів одиночних і групових зарядів різної конструкції з урахуванням їх взаємодії в часі та просторі в породах з різними властивостями на основі математичного моделювання та експериментів» (2011-2014 р. р., № ДР 0111U002107); «Дослідження процесів багатостадійного формування й розвитку в часі та просторі вибухових сейсмічних імпульсів з використанням короткосповільненого підривання в гірництві» (2015-2018 р. р., № ДР 0115U002104), в якій автор брав участь у якості виконавця.

**Мета і задачі дослідження.** Мета досліджень полягає в удосконаленні методу оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання, заснованого на розробці алгоритму визначення максимальної маси ВР на ступінь уповільнення для розрахунку мережі підривання блоків на робочих горизонтах кар'єру, які забезпечують допустимі значення швидкостей коливань біля навколишніх будівель і споруд.

**Задачі дослідження.** Для досягнення поставленої мети сформульовано такі задачі дослідження :

1. Провести вибір структурних схем замірів сейсмовибухових хвиль, апаратури реєстрації коливань та обробки сейсмограм з використанням методу низькочастотної фільтрації сигналів.

2. Удосконалити методи прогнозування сейсмічного ефекту КСП у кар'єрах щодо оцінки кількості здетонованих свердловинних зарядів з використанням сейсмограм вибуху одиничного заряду.

3. Розробити метод визначення несанкціонованого підриву свердловинних зарядів при КСП.

4. Розробити метод апаратурної фіксації інформації про сейсмічні коливання ґрунтової основи будівель і споруд для визначення різних типів сейсмічних хвиль і їх амплітудно-частотних спектрів найбільш близьких до власних гармонік цих об'єктів.

5. Перевірка і впровадження розроблених методів оцінки сейсмоефекту за результатами аналізу моніторингу КСП у кар'єрах і одержання відповідних емпіричних залежностей щодо визначення безпечних параметрів сейсмічних хвиль.

*Об'єктом дослідження є процеси збудження і взаємодії сейсмічних хвиль від дії свердловинних зарядів при КСП у кар'єрах.*

*Предметом дослідження є параметри сейсмічних хвиль від дії одиничних і групових свердловинних зарядів при КСП у кар'єрах.*

**Методи дослідження.** Методичну основу вирішення комплексу поставлених завдань становлять аналізи відомих наукових результатів по способам прогнозу сейсмобезпечного проведення підривних робіт, його узагальнення; рішення прямих задач по розповсюдженню сейсмовибухової хвилі в багат шаровому масиві гірських порід для визначення сейсмобезпечних параметрів масового вибуху у кар'єрі, що гарантують стійкість будівель і споруд; експериментальне дослідження параметрів з допомогою апаратурних приладів сейсмічних хвиль у промислових умовах; використання графоаналітичного методу та методу математичної статистики при обробці експериментальних даних, враховуючи економічні показники.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає в тому, що вперше:

- розроблено спосіб низькочастотної фільтрації сейсмограм при обробці результатів сейсмометричних вимірів в умовах наявності перешкод довкілля динамічних впливів різного походження, що дозволило збільшити точність на 10-15 % визначення як амплітудних значень коливань ґрунту, так і видимого періоду сейсмічних хвиль щодо сейсмостійкості охоронних об'єктів;

- розроблено і перевірено на практиці метод визначення фактичної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів при КСП з урахуванням розкиду часу їх ініціювання, що дозволило уникнути не прогнозованих підривань зарядів і таким чином унеможливити надлишкову сейсмічну дію при вибухових роботах, який збільшив точність до 15 %;

- встановлено критерій по параметру сейсмічних хвиль від вибуху одиничного заряду для визначення максимального сейсмічного поля при КСП; дана відповідь щодо можливості оцінки і прогнозу сейсмічного ефекту від МВ способом КСП для всього горизонту робіт, або для невеликого кар'єру в цілому;

- отримані нові кількісні та якісні зв'язки між типами сейсмічних хвиль і їх спектрами, які найбільш проявляються у власних гармоніках об'єктів, що

охороняються, і які є найнебезпечнішими, що дозволило збільшити точність розрахунку допустимих швидкостей коливань біля таких об'єктів як уступи, підпірна стінка ДСК, інженерні споруди і гребля ГЕС (по параметрам поперечних хвиль «S») до 30 %, а біля житлових і адміністративних будівель масової забудови (по параметрам поверхневих хвиль Релея «R») до 15 %.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає:

- уперше отримані зв'язки між руйнівними характеристиками свердловинних зарядів ВР в осередку КСП та формуванням сейсмічного впливу в навколишньому середовищі, що дає розуміння виявлення хвилевих полів, які створюють найбільшу небезпеку сейсмостійкості для будівель і споруд в залежності не тільки від призначення та технічного стану, але у прояві їх власних гармонік в сейсмічних спектрах КСП;

- науково обґрунтовано зниження в 1,1–1,3 рази сейсмічного навантаження на гідротехнічні (гідроагрегати) і інженерні споруди (підпірна стінка ДСК) масової швидкості коливань по параметрам поперечних «S» і поверхневих хвиль «R», яке забезпечується дотриманням допустимої маси ВР на ступінь уповільнення, визначеної за методикою автора на основі аналізу траєкторій руху часток ґрунту, отриманих як при вибуху одиничного заряду, так і при МВ;

- уперше визначені емпіричні залежності щодо розрахунку максимальної допустимої кількості підризу свердловинних зарядів ВР на ступінь уповільнення в схемах КСП для підризу послідовних блоків робочих горизонтів кар'єру з одночасним забезпеченням допустимих значень швидкостей коливань біля навколишніх будівель і споруд;

- розроблено рекомендації з визначення параметрів вибухових робіт та відстаней до них, що забезпечують сейсмічну безпеку відповідальних об'єктів державного значення таких, для яких відсутні допустимі норми, як магістрального газопроводу і опори ЛЕП, що розташовані у промисловій зоні 300, 400 м від західних границь Коштівського гранітного кар'єру, греблі Дністровської ГЕС (промислова зона кар'єру будматеріалів), а також об'єкти місцевого значення (гребля Чернятської ГЕС, гранітно - подрібнювальний завод Вирівського родовища гранітів та інші). Очікуваний річний сумарний економічний ефект від впровадження рекомендацій за рахунок зменшення кількості вибухів та годин простою гірничо-видобувного обладнання п'яти кар'єрів становить більше 570 тис. грн.

**Особистий внесок здобувача у роботи, опубліковані у співавторстві:**

Аналітичні та методичні розробки, сейсмобезпечні технологічні вибухові схеми, способи сейсмобезпечного короткоступового підризування у кар'єрах, належать автору і відображені у 9 статтях та 4-х патентах України на корисну модель, написаних у співавторстві. В працях [1, 2, 3] – постановка завдань, аналітичні та експериментальні дослідження, робота з літературними джерелами, формулювання висновків; [4] – обґрунтування

сейсмічних навантажень на гідротехнічні споруди щодо вібрацій при роботі гідроагрегатів Дністровської ГЕС; [5] – розробка способу низькочастотної фільтрації сейсмограм, при обробці результатів сейсмометричних вимірів в умовах інтерференції наявності перешкод довкілля; [6,7] – аналіз результатів польових робіт, математичні розрахунки сейсмобезпечних параметрів масових вибухів, робота з літературними джерелами; [8, 9] – постановка мети і завдань досліджень, розробка методик та проведення промислових експериментів; [10-13] – формулювання способу, визначення формул на корисну модель.

Постановка задач промислової сейсмобезпеки, конструктивна допомога в аналізі отриманих аналітичних та експериментальних результатів належить д.т.н., проф. В. В. Бойку. Конструктивна допомога в аналізі патентних джерел, отриманих експериментальних результатів належить к.т.н., с.н.с. А. О. Кузьменку.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи та окремі її результати обговорювались на Міжнародному форумі-конкурсі молодих вчених «Проблемы недропользования» (Российская Федерация, 23-25 апреля, г. Санкт-Петербург, 2013); Всеукраїнській науковій конференції молодих вчених «До 95-ти річчя НАН України» м. Київ, 19-20 листопада 2013; Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина» молодих вчених, аспірантів і магістрантів. Секція «Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва» (Україна, м. Київ, 2014).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 21 наукова праця, у тому числі 9 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у виданнях іноземних держав, 4 у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз), 4 патенти на корисну модель, 8 тез доповідей.

**Структура і об'єм роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 74 найменувань, 4 додатків на 13 сторінках, містить 22 рисунки, 19 таблиць. Загальний обсяг роботи становить 143 сторінки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації і необхідність проведення досліджень, сформульовані мета, задачі досліджень, визначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведені дані про зв'язок дисертаційної роботи з науковими темами, апробація досліджень та структура роботи.

**У першому розділі** роботи розглянуто відомі результати теоретичних і прикладних досліджень з гірничої сейсміки, які використовуються для оцінки

сейсмічної дії КСП на будівлі, гідротехнічні, інженерні споруди та інші об'єкти.

Великий вклад у розвиток теоретичних і практичних знань у даній проблемі внесли відомі вітчизняні та зарубіжні науковці: В. В. Бойко, О. О. Вовк, Ю. І. Войтенко, В. В. Воробйов, Г. І. Гайко, А. О. Гурін, А. Ю. Дриженко, Е. І. Єфремов, С. В. Зайченко, Н. В. Зуєвська, В. М. Комір, В. В. Коробійчук, В. Г. Кравець, А. О. Кузьменко, Є. О. Несмашний, В. Д. Петренко, Н. С. Ремез, М. О. Садовський, Л. В. Сафонов, М. С. Собко, Р. В. Соболевський, О. М. Терентьєв, О. А. Темченко, К. Н. Ткачук, К. К. Ткачук, П. Й. Федоренко, О. О. Фролов, М. Худек, Б. Ю. Четверик та інші.

Аналіз літературних та патентних джерел з досліджень в гірничій промисловості показав наступне:

- в умовах проведення апаратурних вимірів в районах наявності перешкод докільля у вигляді динамічних впливів різного походження потребує удосконалення спосіб обробки сейсмограм методом низькочастотної фільтрації сигналів;

- дослідження, в яких застосовується метод, при якому фіксується інформація про сейсмічні коливання об'єктів, що охороняються, в точці їх реєстрації у вигляді відповідних осцилограм потребують удосконалення щодо одержання даних по координатних осях за різними типами сейсмічних хвиль та їх амплітудно-частотними спектрами;

- потребує розробки методика по визначенню фактичної кількості одночасно підірваних зарядів по причині розкиду часу їх ініціювання при застосуванні неелектричної системи ініціювання зарядів типу Nonel;

- потребує удосконалення методологія аналізу результатів моніторингу масових вибухів у кар'єрах щодо сейсмічного впливу їх на будівлі і споруди з урахуванням їх власних гармонік, призначення та технічного стану;

- потребує удосконалення методика визначення допустимої маси вибухової речовини на ступінь уповільнення, не як зосереджену масу заряду, а як групу розосереджених свердловинних зарядів, які впливають на сейсмостійкість гідротехнічних і інженерних споруд, розташованих навколо кар'єру.

Існуючий спосіб прогнозу сейсмічного ефекту КСП оцінюється по максимальній масі ВР (кількості свердловинних зарядів ВР) на ступінь уповільнення зосереджених зарядів, з'єднаних в одну систему ініціювання (групу). При цьому вважається, що ця група впливає на сейсмостійкість будівель і споруд, розташованих навколо кар'єру, хоча на практиці мають місце виникнення явища складання сейсмічних хвиль від вибуху окремих розосереджених свердловинних зарядів. Тому подальший розвиток досліджень направлений на: виявлення кількісних та якісних зв'язків між проектним часом ініціювання всіх свердловинних зарядів при КСП та фактичним часом з урахуванням похибок при ініціюванні поверхневих та



внутрішньо-свердловинних детонаторів заводського виготовлення; встановлення кількісних та якісних зв'язків між власними частотними гармоніками об'єктів та найбільш наближених до них типів сейсмічних хвиль, одержаних на основі аналізу траєкторій руху часток ґрунтів із осцилограм КСП; визначення критеріїв за параметром сейсмічних хвиль від вибуху одиничного заряду для виявлення максимального сейсмічного поля при КСП; вирішення питання про можливість визначення максимальної маси ВР на ступінь уповільнення, прийнявши її як сейсмічний ефект всього КСП, на кар'єрах по кількості тих одночасно підірваних свердловинних зарядів, що створюють максимальне хвильове поле.

На основі аналізу сучасних досягнень науки та теоретичних узагальнень було сформульовано вищевказані мету і задачі досліджень.

У другому розділі відповідно до першої задачі щодо вибору структурних схем замірів сейсмовибухових хвиль (СВХ), апаратури реєстрації коливань та обробки сейсмограм з допомогою методу низькочастотної фільтрації сигналів в умовах наявності фонових перешкод в районах об'єктів, що охороняються від сейсмічної дії КСП, в роботі для оцінки сейсмоефекту масових вибухів використовується метод, при якому фіксується інформація про сейсмічні коливання як ґрунтової основи будівель, так і безпосередньо конкретних елементів споруд у вигляді відповідних осцилограм за трьома складовими коливань та протоколів сейсмовимірів. Для запису інформації використовувались персональні комп'ютери типу ноутбук у комплекті з стандартними сейсмоприймачами типу СМ-3 та швидкодіючими аналогово-цифровими перетворювачами (АЦП) типів Е-140 та Е-440. З огляду на те, що в районах розташування об'єктів, що охороняються, практично завжди в сигналі присутня, але замаскована, фонові перешкоди на частоті 20-50 Гц, а робочий діапазон стандартних сейсмоприймачів типу СМ-3 становить від 0,5 до 50 Гц, то в роботі, для таких апаратурних комплексів при вимірюванні сейсмічних хвиль, була проведена дискретизація по фоновим перешкодам з застосуванням методу низькочастотної фільтрації сигналів. Тому всі сейсмометричні записи масових вибухів і одиничного заряду підлягають фільтруванню на частоті 20–50 Гц, а сейсмічна безпека оцінюється за параметрами сейсмовибухових хвиль, знятих з сейсмограм після їх фільтрації. Ці дослідження порівнювались з протоколами одержаних записів із сейсмографа Mini Mate Plus, виробництва Канада, які також використовувались при проведенні сейсмо-вимірювальних робіт. При цьому реєстрація сейсмоколивань від вибухів зарядів ВР та обробка інформації (аналіз амплітудно-частотних параметрів сейсмовибухових хвиль) проводилась по профілях установки як сейсмографа Mini Mate Plus, так і стандартних сейсмоприймачів, кількість яких залежала від поставлених задач.

Вибрані схеми апаратної реєстрації сейсмічних коливань дозволили отримати та обробити цифровий масив даних сейсмічної реєстрації коливань від вибухів з використанням програми Excel. Визначені: коефіцієнти перетворення сейсмічного сигналу сейсмодатчиків за динамічним та за статичним методами; значення величини швидкості зміщення частинок ґрунту; загальна відносна помилка вимірювань швидкості зміщення.

**У третьому розділі** визначена концепція оцінки КСП вибуху системи зарядів по максимальній сумарній амплітуді дії одиничного свердловинного заряду з урахуванням зсуву фаз сейсмовибухових хвиль та відповідно до другої задачі досліджень розглянуті питання розробки методу прогнозування сейсмічного ефекту КСП у кар'єрах щодо оцінки кількості свердловинних зарядів з використанням сейсмограм вибуху одиничного заряду.

На основі визначеної концепції оцінки КСП в даному розділі проведені графоаналітичні дослідження щодо складання хвильових коливань. Результативні коливання, що виникають при підриві системи розосереджених зарядів, залежать від точки спостереження (ближня чи дальня зони вибуху), відстані між окремими зарядами, типу сейсмічної хвилі, властивостей ґрунтового масиву, інтервалу сповільнення. Останнє, в основному, відноситься до КСП окремих груп зарядів.

У загальному вигляді результативне коливання  $x(t)$ , що виникає при вибуху системи розосереджених зарядів, записується як:

$$x(t) = \sum_{i=1}^N A_i X_1(t - \Delta t_i + \varphi_i), \quad (1)$$

де  $A_i$  - амплітуда імпульсу  $x_1(t)$  від  $i$ -го заряду чи групи зарядів;  $N$  - кількість одиничних зарядів чи груп зарядів;  $\Delta t_i$  - часовий зсув для  $i$ -тої хвилі;  $\varphi_i$  - фаза.

Величина  $\Delta t$  залежить від геометрії зарядів, порядку підривання відносно точки спостереження, наявності сповільнювачів:

$$\Delta t = t_c + \frac{a}{D} - \frac{(r_1 - r_2)}{V}, \quad (2)$$

де  $t_c$  - інтервал сповільнення, с;  $a$  - відстань між зарядами, м;  $D$  - швидкість розповсюдження ініціюючого імпульсу, м/с;  $r_1$  і  $r_2$  - відстань від точки спостереження до заряду, який підривається відповідно першим і другим, м;  $V$  - швидкість розповсюдження відповідної хвилі по ґрунтовому масиві, м/с.

Наведені результати графоаналітичних досліджень щодо виявлення максимального сейсмічного поля при КСП за параметрами сейсмічних хвиль від вибуху одиничного свердловинного заряду ВР. В ближній зоні вибуху до епіцентральної відстаней  $r \leq 2l$  ( $l$  - довжина лінії розосередження зарядів, м) параметри хвиль від кожної свердловини будуть різні. В цьому випадку

амплітуду і зсув фаз визначають окремо для кожної свердловини. Максимальна сумарна амплітуда швидкості коливань знаходиться в межах першого півперіоду хвилі від ближнього свердловинного заряду, тобто в межах відрізка часу  $1/2 T$  ( $T$  – період коливання хвилі, що розглядається). У розрахунках приймалися тільки хвилі від вибухів свердловинних зарядів, зсув фаз яких не перевищує  $90^\circ$ . Ці умови є методом визначення кількості розосереджених зарядів, які утворюють сумарне хвильове поле шляхом інтерференції хвиль, що виникає при вибухах окремих зарядів. Інструментом для вказаного визначення кількості ефективних зарядів, які можуть приймати участь у суперпозиції хвиль при миттєвому підриванні, може бути формула для зсуву фаз у ближній зоні:

$$\varphi = \frac{360^\circ \cdot a}{D \cdot T} \pm \frac{360^\circ (r_{i+1} - r_i)}{V \cdot T} \leq 90^\circ. \quad (3)$$

Формула (3) є підтвердженням того, що сумарне хвильове поле утворюється шляхом інтерференції хвиль, які утворюються при вибухах окремих свердловинних зарядів.

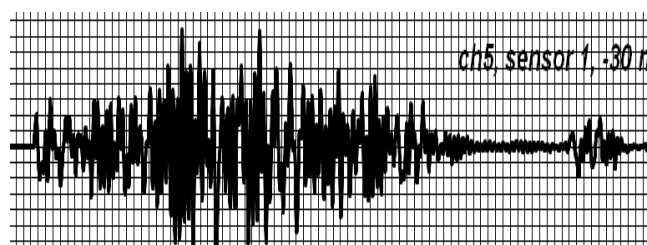
В даному розділі розроблено спосіб оцінки сейсмобезпеки короткосповільненого підривання у кар'єрах, який захищений патентами України №131003 UA, №135669 UA і базується на рішеннях прямих задач експериментального плану, попередніх сейсмічних вимірах МВ з використанням одержаних сейсмограм вибуху одиничного заряду ВР і масового вибуху при КСП, з застосуванням методу геометричної подібності академіка М.О. Садовського за яким були одержані емпіричні залежності між швидкістю зміщення часток ґрунту, масою заряду на одне сповільнення (кількістю одночасно підірваних свердловинних зарядів ВР) і відстанню від короткосповільнених масових вибухів щодо визначення безпечних параметрів сейсмічних хвиль в конкретних умовах. Нижче наведено алгоритм розрахунку кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів ВР при КСП.

В профілі блоку в напрямку об'єкта, що охороняється, встановлюють точки реєстрації коливань з різним інтервалом відстаней ( $r_1, r_2, m$ ) між ними. В кожній точці, з використанням апаратури і методики, приведеній в попередньому розділі, проводять запис коливань від короткосповільненого масового вибуху з одержанням осцилограм вибуху (рис. 1). При цьому серію всіх свердловинних зарядів на блоці з'єднують в загальну схему вибухової мережі з традиційними інтервалами сповільнення між ними, крім окремого останнього свердловинного заряду з інтервалом, збільшеним в 5-10 разів. По розшифровці осцилограм вибуху (рис. 1) на різних відстанях ( $r_1, r_2, m$ ), визначають швидкості коливань ґрунту, як від підриву одиничного заряду (справа)  $U_1, U_2$  (м/с), так і від серії зарядів всього блоку  $U_{MB1}, U_{MB2}$  (м/с)

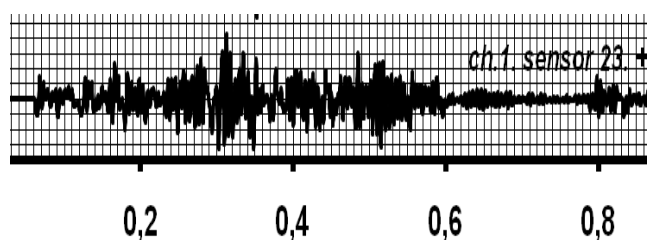
(зліва), а залежності для визначення цих швидкостей коливань ґрунту, наприклад, в пункті реєстрації 1, на відстані  $r_1$  мають вигляд:

$$U_1 = K_c \left( \frac{r_1}{Q_1^{1/3}} \right)^{-n}, \text{ м/с} \quad (4)$$

$$U_{\text{MB1}} = K_c \cdot N \left( \frac{r_1}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}, \text{ м/с} \quad (5)$$



$U_{\text{MB1}} U_1$



$U_{\text{MB2}} U_2$

Рисунок 1 – Осцилограма з фрагментами по визначенню максимальних значень швидкостей коливань ґрунту від вибуху одиничного заряду - справа ( $U_1=0,25, U_2=0,35 \text{ см/с}$ ) та масового вибуху - зліва ( $U_{\text{MB1}}=1,26, U_{\text{MB2}}=0,8 \text{ см/с.}$ ) параметрів сейсмовибухових хвиль, які виникали при масових вибухах в кар'єрі, на відстанях 206 та 256 м від блоку, що підривався в східному напрямку, одержаних від сейсмоприймачів – СМ-3, аналого-цифрового перетворювача АЦП Е-440 і ПК типу ноутбук.

Аналогічно формулам (4), (5) будуть мати вигляд залежності в пункті реєстрації 2 на відстані  $r_2$ . Використовуючи ці залежності в 2-х пунктах реєстрації, складають системи рівнянь від вибуху одиничного і серії зарядів всього блоку. Із рішення систем рівнянь одержаних від одиничного заряду визначають показник степені затухання  $n$  та коефіцієнт сейсмічності  $K_c$ , які будуть рівними, як для умов підривання одиничного заряду, так і серії зарядів. У формулах (5), одержаних від підриву всього блоку, коефіцієнт  $K_c$  збільшується на кількість одночасно підірваних свердловинних зарядів  $N$ , а фактичну масу одиничного заряду ( $Q_1$ , кг) приводять до ефективної маси ( $Q_{\text{еф}}$ , кг), яка виникає в результаті взаємодії між свердловинними зарядами і розраховується за формулою:

$$Q_{\text{еф}} = Q_1 \left[ \left( 1 - \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right) \cdot C + \frac{1}{N_{\text{еф}}^b} \right], \text{ кг}, \quad (6)$$

де  $N_{\text{еф}}$  - кількість окремих зарядів, хвилі яких приймають участь у взаємодії зарядів;  $b$  – показник, що залежить від властивостей ґрунту через коефіцієнт затухання сейсмічної хвилі ( $b = \frac{3}{n} - 1$ );  $C$  – відносна відстань між окремими

зарядами ( $C = \frac{a}{2r_n}$ ),  $a$  – відстань між окремими зарядами,  $r_n$  – радіус зони руйнування.

Із залежностей швидкості коливань ґрунту, одержаних на одній і тій же відстані, складають систему рівнянь від вибуху одиничного і від серії одиничних свердловинних зарядів ВР всього блоку у вигляді:

$$\begin{cases} U_1 = K_c (r_1 / Q_1^{1/3})^{-n} \\ U_{MB1} = K_c \times N (r_1 / Q_{\text{еф}}^{1/3})^{-n} \end{cases} \quad (7)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (7) відносно  $N$ , одержимо формулу для визначення шуканого фактичного максимального числа одночасно підірваних свердловинних зарядів:

$$N = \frac{U_{MB1}}{K_c} \cdot \left( \frac{r_1}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^n \quad (8)$$

Визначені вище значення коефіцієнтів  $K_c$ ,  $N$  та  $n$  використовують для одержання основних показників формули для розрахунку важливих сейсмічних показників вибухових робіт, таких як: швидкостей коливань часток ґрунту в м/с біля охоронних об'єктів (9), сейсмобезпечних відстаней в м (10) та допустимих мас заряду ВР на одне сповільнення в кг для проектування вибухових мереж при короткосповільненому підіриванні блоків у кар'єрі (11):

$$U = K_c \times N \left( \frac{r}{Q_{\text{еф}}^{1/3}} \right)^{-n}, \text{ м/с}; \quad (9) \quad r_c = \left( \frac{K_c N}{U_{\text{доп}}} \right)^{1/n} Q_{\text{еф}}^{1/3}, \text{ м}; \quad (10)$$

$$Q_{\text{доп}} = \left( \frac{U_{\text{доп}}}{K_c N} \right)^{3/n} r_c^3, \text{ кг}, \quad (11)$$

де:  $r_c$ - сейсмобезпечна відстань (м) до будівель і споруд з допустимою поверхневою (Релея), або поперечною хвилями для цих об'єктів і швидкістю коливань їх ґрунтової основи ( $U_{\text{доп}}$ , м/с).

Практична реалізація розробленого методу оцінки сейсмоефекту проводилась за результатами аналізу сейсмовимірів МВ в умовах кар'єрів на яких виконувались впровадження і приведена в наступних розділах.

У четвертому розділі відповідно до третьої і четвертої задач досліджень в першу чергу було розглянуто питання удосконалення схем КСП підбором часу ініціювання поверхневих та внутрішньо свердловинних детонаторів з урахуванням наявності несанкціонованого часового розкиду ініціювання. В другу чергу, з урахуванням похибок сейсмометричної апаратури, проведені дослідження по розробці способу визначення типів сейсмічних хвиль із осцилограм вибухів одиничних і групових зарядів ВР по траєкторіях руху часток ґрунту у вигляді відповідних діляниць осцилограм за різними типами хвиль і їх амплітудно-частотних спектрів.

Інтервали сповільнень при монтажі вибухової мережі вибираються без урахування розкиду часу спрацювання детонаторів, що часто призводить до незапланованого вибуху більшої кількості свердловинних зарядів в ступенях уповільнення, ніж було передбачено паспортом БВР, що, в свою чергу, призводить до помилок при визначенні допустимих мас зарядів, отже і до помилок при визначенні сейсмобезпечних відстаней. Тому в роботі для кожного номінального часу уповільнення визначалось своє відхилення, яке ураховувалось при монтажі вибухової мережі. На практиці кожен номінальний час уповільнення має своє відхилення, яке розраховується за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (12)$$

де  $x_i$  –  $i$ -й елемент вибірки;  $\bar{x}$  – середнє арифметичне вибірки.

З урахуванням (12) граничне значення часу сповільнення (мс) визначається за формулою:

$$t_n = t_n \pm 2\sigma, \quad (13)$$

де  $t_n$  – номінальний час спрацювання детонатора - сповільнювача, мс;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення, мс.

З урахуванням розкиду часу спрацювання хвилеводних пристроїв з ініціювання свердловинних зарядів перевіркою на можливість складання амплітуд коливань від одночасно підірваних зарядів в групі є наступна умова приходу хвилі щодо першого підіраного заряду:

$$t_n + t_B \leq 1/2 T_p, \quad (14)$$

де  $t_n$  – граничний час спрацювання детонатора – сповільнювача, мс.

Слід відзначити, що найбільшу лепту в кількість несанкціонованих вибухів зарядів вносять внутрішньо свердловинні детонатори - сповільнювачі

(500 мс), розкид часу спрацьовування яких становить 5 – 10 %, що близько до часто вживаних поверхневих сповільнювачів 25 – 50 мс, а це веде до несанкціонованого вибуху зарядів сусідньої ступені уповільнення.

В даному розділі в рамках рішення четвертої задачі викладені результати досліджень, пов'язані з використанням апаратурної фіксації інформації про сейсмічні коливання будівель і споруд для визначення саме тих типів сейсмічних хвиль, які впливають на їх сейсмостійкість і потребують урахування при розрахунках з використанням формул (9-11) щодо отримання значень допустимої швидкості коливань їх ґрунтової основи ( $U_{\text{доп}}$ , м/с). Відмінною особливістю даної методики від існуючої в промисловій сейсміці є те, що визначення сейсмоефекту швидкості коливань сейсмічних хвиль при розрахунках допустимих мас зарядів на одне сповільнення, або сейсмобезпечних відстаней по формулах (9-11), проводять із сейсмограм вибухів з урахування їх типу.

На рисунку 2 приведені результати розробленого способу визначення типів сейсмічних хвиль із осцилограм вибухів одиничного заряду по траєкторіях руху часток ґрунту . Осцилограми з відповідними дільницями по  $P, S, R_1, R_2$  типам хвиль мають вигляд (рис.2, з).

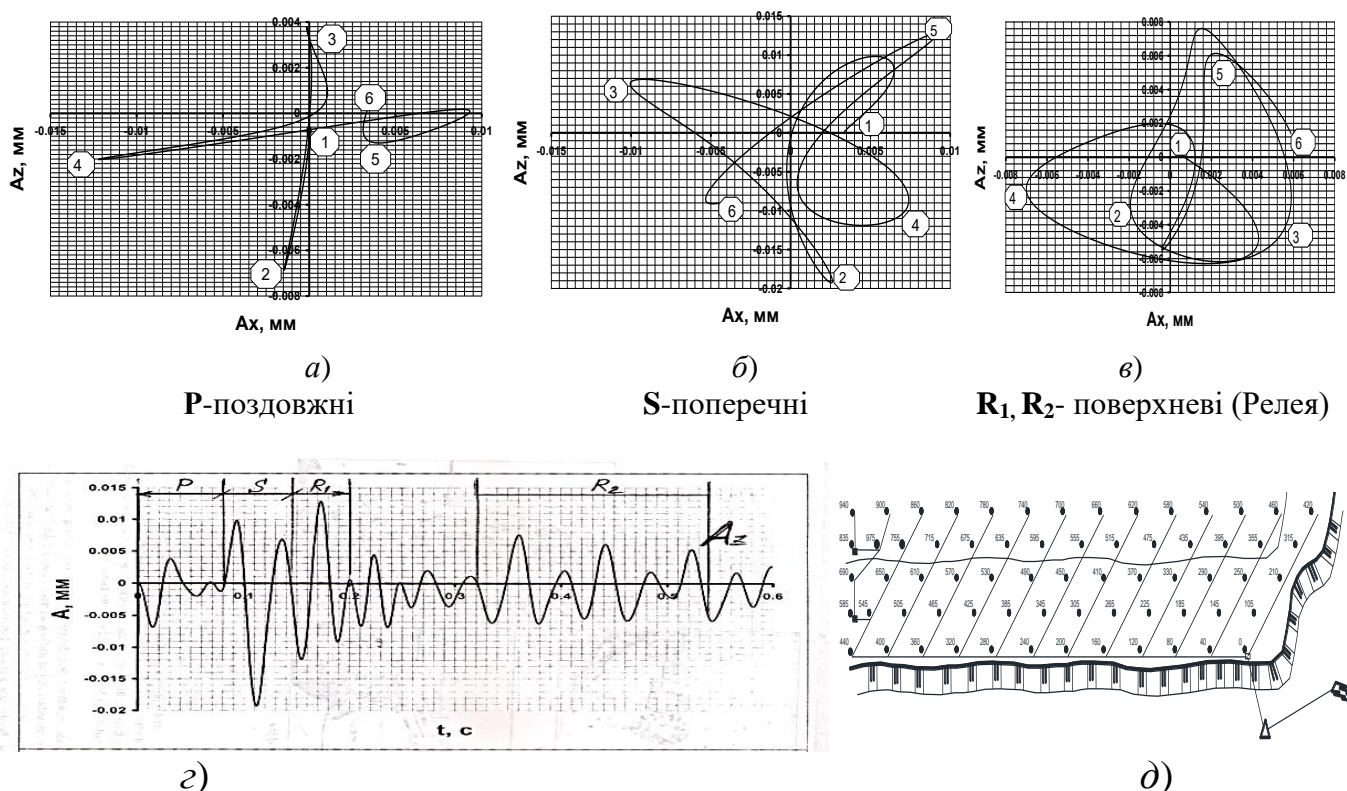


Рисунок 2 – Результати визначення типів сейсмічних хвиль із осцилограми вибухів одиничного заряду масою 130 кг по траєкторіях руху часток ґрунту:

а), б), в) – траєкторії руху часток ґрунту (поздовжні  $P$ , поперечні  $S$ , та поверхневі (Релея)  $R_1, R_2$  типи сейсмічних хвиль відповідно) та виділені дільниці на осцилограмі з), одержаної від дії вибуху свердловинного заряду ВР, вмонтованого в приведеній схемі КСП д), на відстані 550 м та фільтрована на частоті 50 Гц.

Для підприємств і об'єктів, які наведені в таблиці 1, в даному розділі наведено значення коефіцієнтів  $K_c, n$  та емпіричні залежності (15-19), розраховані по алгоритму розробленому автором і які перевірені в конкретних умовах кар'єрів, та без проведення сейсмовимірів, використовували для визначення допустимих мас заряду ВР на одне сповільнення. Останній, що є основним параметром щодо обмеження кількості підривання свердловинних зарядів ВР на одне сповільнення необхідний для монтажу схем КСП на блоках, які постійно переміщуються в напрямку фронту видобутку корисних копалин на робочому горизонті кар'єру.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів  $K_c, n$  та емпіричні залежності одержані в умовах кар'єрів і об'єктів, на яких проводилось впровадження.

Підприємства. Об'єкти, які охороняються	Емпіричні залежності $Q_{\text{доп}}^{\text{гр}}$ , кг	$K_c$	$n$
Кар'єр в акваторії відстою судів Дністровської ГЕС. Гребля ГЕС.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{485}\right)^{3/1,5} r_c^3$ , (15)	485	1,5
ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр». Житлові будинки смт. Рокітно.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{105}\right)^{3/1,25} r_c^3$ , (16)	105	1,25
ТОВ «Вирівський кар'єр». Підпірна стінка ДСУ, житлові будинки смт. Вири.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{132}\right)^{3/1,25} r_c^3$ , (17)	132	1,25
Кошіївський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН». Газопровід і опора ЛЕП.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{330}\right)^{3/2} r_c^3$ , (18)	330	2,0
Кар'єр ТОВ «БУДМАТЕРІАЛИ». Гребля ГЕС та житлові будинки с. Шумилів.	$Q_{\text{доп}}^{\text{гр}} = \left(\frac{U_{\text{доп}}}{73}\right)^{3/1,77} r_c^3$ , (19)	73	1,77

Перевірка на практиці показала, що розроблений автором метод оцінки сейсмічного ефекту КСП дозволяє: уникати незапланованих підривів зарядів і таким чином унеможливити надлишкову сейсмічну дію при проведенні масових вибухів; дає можливість уникати помилок у визначенні допустимої маси вибухової речовини (ВР) на ступінь уповільнення до 30% та обґрунтувати реальне зниження в 1,1-1,3 рази сейсмічного навантаження на гідротехнічні і інженерні споруди. В подальшому приведені дослідження були використані в наступному розділі при розробці «Рекомендацій по сейсmobезпеці» для проектування вибухових мереж на блоках, які обмежують допустиму масу заряду ВР на одне сповільнення в умовах підприємств і об'єктів, які показані в таблиці 1.

У п'ятому розділі відповідно до п'ятої задачі досліджень розглянуто питання щодо розробки Рекомендацій по безпечному веденню підривних робіт і впровадження їх у кар'єрах.



Виготовлення Рекомендацій в умовах кар'єрів, наведених в таблиці 1, проводилось у відповідності до «Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення», «Технічних правил ведення вибухових робіт на денній поверхні», Державних стандартів України та на основі результатів аналітичних і промислових досліджень, викладених в попередніх розділах. Розрахунок сейсмостійкості полягає в тому, що до початку проведення підривних робіт в промислових умовах визначався допустимий рівень швидкості коливань за ДСТУ 4704:2008 для конкретних будівель (житлові будівлі масової забудови), а для споруд, по яким відсутні норми, визначення проводили по типу хвиль, які за амплітудно-частотним спектром найбільш наближені до власних коливань цієї споруди.

Використавши ф-ли (15-19) (табл. 1), для кожного блоку робочого горизонту кар'єру розраховували як допустиму масу заряду ВР на одне сповільнення для монтажу вибухової мережі системи одиничних свердловинних зарядів ВР щодо коротко сповільненого їх ініціювання, так і сейсмостійкість об'єктів, які охоронялись. Обмеження допустимої маси заряду ВР на одне сповільнення на блоках визначались по графікам наведеним на рисунку 3.

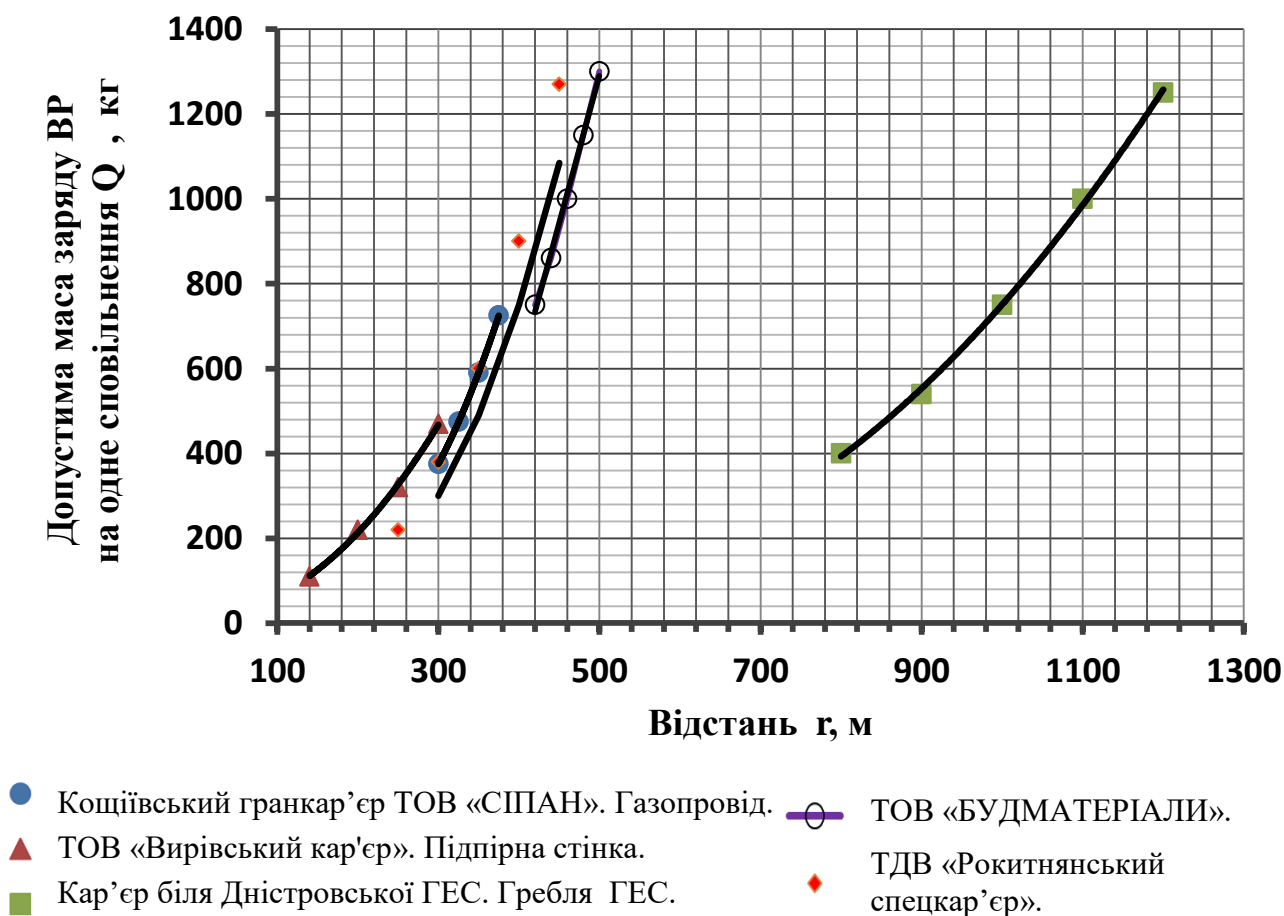


Рисунок 3 – Рекомендації щодо безпечного ведення підривних робіт.

Рекомендації (рис.3) та ф-ли (15-19) (табл. 1) щодо визначення допустимих швидкостей коливань для земельно-кам'яної греблі Дністровської ГЕС, підпірної стінки, опор ЛЕП та магістрального газопроводу виконані з урахуванням сейсмічних навантажень від дії поперечних хвиль  $S(U_{\text{доп}}^S)$ , а для житлових будівель - поверхневих (Релеївських) хвиль  $R(U_{\text{доп}}^R)$ .

Розроблені в даному розділі «Рекомендації щодо безпечного ведення підричних робіт» передані та впроваджені у кар'єрах (табл. 1). А по приведеній в даному розділі методиці був розрахований річний очікуваний сумарний економічний ефект від впровадження рекомендацій, за рахунок зменшення кількості вибухів та годин простою гірничо-видобувного обладнання, який на п'яти кар'єрах становить більше 570 тис. грн.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, у якій вперше на основі результатів аналітичних і промислових досліджень запропоновано вирішення актуального для кар'єрів науково-практичного завдання підвищення сейсмобезпеки вибухових робіт, яке досягається за рахунок розробленого автором нового методу оцінки сейсмічного ефекту короткоступовленого підривання, ґрунтованого на алгоритмі розрахунку максимальної маси ВР на ступінь уповільнення, що дозволяє проектувати схеми підривання блоків на робочих горизонтах кар'єру, які забезпечують допустимі значення швидкостей коливань біля навколишніх будівель і споруд.

**При виконанні досліджень у дисертаційній роботі отримано наступні наукові і практичні результати:**

1. Розроблений метод оцінки сейсмічного ефекту КСП дозволив проводити його прогнозування як в межах одного горизонту, так і по всіх робочих горизонтах кар'єрного поля, визначати фактичну кількість одночасно підірваних зарядів, в т.ч. і за наявності непланового часового розкиду їх ініціювання, одержати розрахункові параметри сейсмічних хвиль на рівні допустимих похибок сейсмометричної апаратури.

2. Унаслідок дослідження результатів моніторингу масових вибухів у кар'єрах уперше у практиці вітчизняних робіт при обробці результатів сейсмометричних вимірів використаний спосіб низькочастотної фільтрації сейсмограм, що дозволило впевнено виділити із спектру коливань необхідні по частоті хвилі для дослідження їх взаємодії із охоронним об'єктом, а також використати значення видимого періоду коливань для визначення сейсмобезпечних параметрів вибуху.

3. Уперше визначені із сейсмограм масових вибухів типи хвиль дозволили оцінити їх сейсмобезпеку на такі об'єкти як: житлові і

адміністративні будівлі масової забудови, для яких їх власні гармоніки найнебезпечніше проявляються в спектрах поверхневих хвиль Релея «R», а уступи, підпірна стінка дробарки, споруди і гребля ГЕС найнебезпечніше проявляються в спектрах поперечних хвиль «S», що дозволило збільшити точність розрахунку допустимих швидкостей коливань біля цих об'єктів до 15 %.

4. Реалізація результатів дослідження при проведенні вибухових робіт з застосуванням прийнятого критерію оцінювання стійкості та норм для будівель, уступів, кам'яно-земельної греблі, магістрального газопроводу й опори ЛЕП та підпірної стінки ДСУ, розташованих поблизу меж кар'єрного поля, підтвердила їх достовірність, оскільки за період роботи кар'єрів після впровадження розроблених рекомендацій не було зафіксовано будь-яких пошкоджень і порушень у цих об'єктах.

5. Очікуваний економічний ефект від впровадження в умовах видобутку корисних копалин на кар'єрах ТДВ «Рокитнянський спецкар'єр», ТОВ «Вирівський кар'єр», Кошівський гранітний кар'єр ТОВ «СПАН», ТОВ «Будматеріали» та в акваторії відстою суден біля земельно-кам'яної греблі Дніпровської ГЕС рекомендацій щодо безпечного проведення підривних робіт поблизу будівель і споруд складає більше 570 тис. грн.

### **Список опублікованих праць за темою дисертації:**

Статті у фахових виданнях:

1. Кузьменко А.А., Чала О.М. Хлевнюк Д.В. О количестве фактически взрывающихся зарядов в одной группе. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. – 2014. – Вип. 26. (особистий внесок – постановка завдань, аналітичні та експериментальні дослідження, робота з літературними джерелами, формулювання висновків).

2. Кузьменко А.А., Хлевнюк Д.В., Богуцький С.Ю. Определение реального количества взорванных скважин в одной группе. *Вісник КрНУ* – Вип. 6/2014 (89). Частина 1. – С.112-116. (особистий внесок – постановка завдань, аналітичні та експериментальні дослідження, робота з літературними джерелами, формулювання висновків).

3. Бойко В.В. Хлевнюк Д.В. Сейсмобезопасность сооружений в условиях промышленных взрывов. *Turkmenistanda seysmika durnukli gurlysygy kamilledirmek-gurlusyk pudagynyn ustunlikli syysatynyn girewirir*. Ашхабад.2014. с.78-84. (іноземне видання). (особистий внесок – постановка завдань, аналітичні та експериментальні дослідження, робота з літературними джерелами, формулювання висновків).

4. Бойко В.В., Чала О.М., Хлевнюк Д.В. Сейсмобезпека гребель і споруд в умовах кар'єрних вибухів. Збірник наукових праць. *Серія: галузеве машинобудування, будівництво / ПолтНТУ* Вип. 3 (45). – 2015. – С. 193-202. (міжнародна наукометрична база *Index Copernicus*). (особистий внесок -

обґрунтування сейсмічних навантажень на гідротехнічні споруди щодо вібрацій при роботі гідроагрегатів Дністровської ГЕС).

5. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Д.В., Лемешко В.А. Дискретизация аналогового сигнала от сейсмического приемника СМ-3 при проведении промышленных взрывов. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. – 2015. – Вип. 27. С.97-105. (особистий внесок – розробка способу низькочастотної фільтрації сейсмограм, при обробці результатів сейсмометричних вимірів в умовах інтерференції наявності перешкод довкілля).

6. Бойко В.В., Хлевнюк Д.В., Богущкий С.Ю. Оцінка сейсмічного ефекту масових вибухів при системі неелектричного ініціювання зарядів. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. – 2015. – Вип. 28. С.5-11. (особистий внесок – аналіз результатів польових робіт, математичні розрахунки сейсмобезпечних параметрів масових вибухів, робота з літературними джерелами).

7. Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Чала О.М. Хлевнюк Д.В. Про сейсмічну дію вибуху розосередженого заряду. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. – 2016. – Вип. 31. С.25-35. (особистий внесок – аналіз результатів польових робіт, математичні розрахунки сейсмобезпечних параметрів масових вибухів, робота з літературними джерелами).

8. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В. Дія вибуху розосередженого заряду в скельних ґрунтах. *Вісник ЖДТУ. Технічні Науки*. – Вип. № 1 (79) – 2017– С. 153-159. (особистий внесок - постановка мети і завдань досліджень, розробка методик для проведення промислових експериментів).

9. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Д.В. Норми сейсмічної безпеки при проведенні вибухових робіт на кар'єрах. *Вісник ЖДТУ. Технічні Науки*. 2017. Вип. № 2 (80). С. 214 – 224. (особистий внесок - постановка мети і завдань досліджень, розробка методик для проведення промислових експериментів)

#### Патенти на корисні моделі:

10. Патент на корисну модель № 93234 UA МПК E21C41/26 (2006.01) Спосіб сейсмобезпечного короткосповільненого підривання в тріщинуватих гірських породах / Бойко В.В., Богущкий С.Ю., Хлевнюк Д.В., Жукова Н.І.- №u201403411; заявл. 03.04.2014; опубл. 25.09.2014. Бюл. №18 (особистий внесок – формулювання способу, визначення формул на корисну модель).

11. Патент на корисну модель № 93235 UA Спосіб вибухового руйнування складно структурних масивів гірських порід/ Бойко В.В., Богущкий С.Ю., Хлевнюк Д.В., Жукова Н.І.- №U201403413; заявл. 03.04.2014; опубл. 25.09.2014. Бюл. №18 (особистий внесок – формулювання способу, визначення формул на корисну модель).

12. Патент на корисну модель №131003 UA Спосіб визначення сейсмобезпечної кількості одночасно підірваних свердловинних зарядів і відстаней./ Кузьменко А.О., Бойко В.В., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В., Лемешко В. А. /№131003; заявл. 25.04.2018; опубл. 10.01.2019. Бюл. №1(особистий внесок – формулювання способу, визначення формул на корисну модель).

13. Патент на корисну модель № 93235 UA Спосіб визначення інтенсивності сейсмічних хвиль при масових вибухах./ Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Чала О.М., Хлевнюк Д.В., Лемешко В. А. /заявка № 201901262 (особистий внесок – формулювання способу, визначення формул на корисну модель).

#### Публікації та матеріали конференцій:

14. Чала О.М., Хлевнюк Д.В., Криворучко Н.І. Оцінка інтерференції сейсмічних коливань при неелектричній системі ініціювання зарядів вибухової речовини. Збірник матеріалів П'ятої Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених до 95-річчя Національної академії наук України. 19-20 листопада 2013, Київ.

15. Бойко В.В. Хлевнюк Д.В. Сейсмобезопасность сооружений в условиях промышленных взрывов. *Turkmenistanda seysmika durnukli gurlusygy kamilledirmek-gurlusyk pudagynyn ustunlikli syyasyatynyn girewirir*, Ашхабад. 2014. с.78-84.

16. Чала О.М., Кузьменко А.О. Хлевнюк Д.В. Оцінка сейсмічного ефекту масових вибухів на кар'єрах. IX Міжнародна науково - технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина.» молодих вчених, аспірантів та магістрантів. Секція «Перспективи розвитку гірничої справи та підземного будівництва». – Київ, 25.05.2017р.

17. Бойко В.В., Кузьменко А.О., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В. Сейсмічна дія короткосповільнених масових вибухів. Міжнародна науково-технічна конференція «проблеми геоінженерії та підземної урбаністики». 17-18 травня 2018 року. Київ 2018.

18. Кузьменко А.О., Чала О.М., Хлевнюк Д.В., Тарасюк О.С. Сейсмічний ефект вибуху одночасно підірваних зарядів. Всеукраїнська науково-практична on-line конференція аспірантів, молодих вчених та студентів, присвяченої Дню науки «Розробка родовищ корисних копалин. Маркшейдерське забезпечення геотехнологій», 16-18 травня 2018 року. С. 191-192.

19. Бойко В.В., Хлевнюк Т.В., Хлевнюк Д.В., Лемешко В.А. Дискретизація сигналів одержаних аналого-цифровим комплексом до показників автономного комплексу Mini mate plus. II міжнародна науково-

технічна конференція *«Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики»*, 29-31 травня 2019 року. – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського.

20. Хлевнюк Д.В., Лемешко В. А. Чала О.М. Низькочастотна фільтрація сейсмограм, одержаних аналого-цифровим комплексом. Тези VI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених *«Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів»*, 17- 18 квітня 2019 року. – Житомир : ЖДТУ, 2019.

21. Хлевнюк Д.В., Тарасюк О.С., Чала О.М. Фільтрація запису хвильових коливань. II міжнародна науково-технічна конференція *«Проблеми геоінженерії та підземної урбаністики»*, 29-31 травня 2019 року. – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського.

### АНОТАЦІЯ

**Хлевнюк Д.В. Розробка методу оцінки сейсмічного ефекту короткосповільненого підривання у кар'єрах для сейсмічної безпеки навколишніх будівель і споруд** – на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України. Київ, 2020.

Дисертація присвячена вирішенню актуального для кар'єрів науково-практичного завдання визначення параметрів сейсмовибухових хвиль, що формують сейсмічну дію короткосповільнених масових вибухів у кар'єрах та впливають й підвищують безпеку навколишніх будівель і споруд.

Запропонована оцінка сейсмоефекту КСП системи свердловинних зарядів, яка полягає в урахуванні пауз сповільнення кожного заряду ВР та кількості ступенів сповільнення розосереджених свердловинних зарядів з інтервалами сповільнення, які не перевищують 90° зсуву фаз між ними, в т.ч. і за наявності непланового часового розкиду їх ініціювання, одержані розрахункові параметри сейсмічних хвиль на рівні допустимих похибок сейсмометричної апаратури.

Розроблені і впроваджені рекомендації з визначення параметрів вибухових робіт та відстаней до них, що забезпечують сейсмічну безпеку важливих об'єктів державного значення.

**Ключові слова:** сейсмобезпека, масовий вибух, будівлі, кар'єр, швидкість коливань часток ґрунту, короткосповільнене підривання, сейсмічний ефект, сейсмічні хвилі, ґрунт, інтервали сповільнення, ініціювання, розосереджені свердловинні заряди.

## АННОТАЦИЯ

**Хлевнюк Д.В. Разработка метода оценки сейсмического эффекта короткозамедленного взрывания в карьерах для сейсмической безопасности окружающих зданий и сооружений – на правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.03 - открытая разработка месторождений полезных ископаемых. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» МОН Украины. Киев, 2020.

Диссертация посвящена решению актуальной для карьеров научно-практической задачи определения параметров сейсмовзрывных волн, что формируют сейсмическое воздействие короткозамедленных массовых взрывов в карьерах и влияют на повышение безопасности окружающих зданий и сооружений.

Предложена оценка сейсмоэффекта КЗВ системы скважинных зарядов, которая заключается в учете интервалов замедления каждого заряда ВВ и количества ступеней замедления рассредоточенных скважинных зарядов с интервалами замедления, не превышающими  $90^\circ$  сдвига фаз между ними, в т.ч. и при наличии несанкционированного временного разброса их инициирования, полученные расчетные параметры сейсмических волн на уровне допустимых погрешностей сейсмометрической аппаратуры.

Разработаны и внедрены рекомендации по определению параметров взрывных работ и расстояний до них, обеспечивающие сейсмическую безопасность важных объектов государственного значения.

**Ключевые слова:** Сейсмобезопасность, массовый взрыв, здания, карьер, скорость колебаний частиц грунта, короткозамедленное взрывание, сейсмический эффект, сейсмические волны, почва, интервалы замедления, инициирование, рассредоточенные скважинные заряды.

## ABSTRACT

**Khlevnyuk D.V. Development of a method for estimating the seismic effect of short delayed blasting in quarries for seismic safety of surrounding buildings and structures - as a manuscript.**

Thesis for a Candidate Degree in Engineering in the specialty 05.15.03 - open mining of minerals. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky" MES of Ukraine, Kyiv, 2020.

The dissertation is devoted to the solution of the actual for the quarries scientific and practical task of determining the parameters of seismic explosive waves, which form the seismic effect of short-delayed mass explosions in the quarries and affect an increase the safety of surrounding buildings and structures.

The developed method (protected by patents of Ukraine No. 131003 UA, No. 135669 UA) for assessing the seismic effect of a mass explosion, by determining the mass of the explosive, which consists of both instantly exploded groups and individual single wells, which determine the real seismic effect of a short delayed blasting (SDB). A check was carried out according to the results of analysis of monitoring of mass explosions in quarries, and corresponding empirical dependencies were obtained to determine the safe parameters of seismic waves for buildings and structures located in specific mining and geological conditions.

The proposed estimation of the seismic effect of SDB of a borehole charge system, which consists in taking into account the deceleration intervals of each explosive charge and the number of deceleration stages of dispersed borehole charges with deceleration intervals not exceeding  $90^\circ$  phase shift between them, including in the presence of unauthorized temporary dispersion their initiation, the calculated parameters of seismic waves at the level of permissible errors of seismometric equipment.

Based on the conducted research, it is proposed to use the method of low-frequency filtering of seismograms when processing the results of the seismometric measurements, which allows: to clear on the seismograms the error records from the high-frequency oscillations caused by interference phenomena; to obtain from the waveforms the filtered period and the maximum amplitude of the seismic wave velocity, which affect the seismic stability of the protected objects and which must be taken as a criterion for estimating the seismic effect when obtaining engineering formulas for calculating geo-seismic wave parameters. Quantitative and qualitative relationships between the natural frequency harmonics of objects and the closest types of seismic waves, obtained on the basis of the analysis of trajectories of movement soil particles from waveform COP blasting, will be established, which will be used for reasonably seismic loading on hydrotechnical (hydropower) structures (crusher retaining wall) and others, in determining the permissible mass the explosive at the degree of deceleration.

Recommendations have been developed and implemented to determine the parameters of blasting operations and their distances, providing seismic safety for important facilities of national importance for which there are no permissible norms, such as a gas pipeline and power transmission towers located in the industrial zone 300, 400 m from the western borders of the Kashcheevsky granite quarry, dams of the Dniester hydroelectric power station (industrial zone of the quarry of building materials), as well as local objects (dam of the Chernyatskaya hydroelectric power station, retaining wall the crushed stone crusher plant Wyrowski granite deposits).

The seismic effect of the total mass explosion is determined, taken as a standard, the parameters of seismic waves of a single charge explosion, obtained by the results of monitoring of short-delayed blasting, in space, together with all borehole charges, but separated by an interval of slowing down, which made it



possible to increase the accuracy by 10-15% of the determination of acceptable values of the velocity of oscillation (seismic resistance criterion) of buildings and structures of various purposes.

Considered the issues of implementation of the developed methods of seismic effect estimation based on the results of analysis of monitoring of ME in quarries and the carrying out calculation of the corresponding mining and geological conditions of empirical dependencies that determine the seismic parameters of seismic waves for the surrounding buildings and structures.

The dissertation is a completed research work, in which for the first time on the basis of the results of analytical and industrial researches the solution of the actual for the quarries scientific and practical task of determination of the parameters of seismic explosive waves forming the seismic action of SSD mass explosions in the quarries and affect and enhance the safety of surrounding buildings and structures.

**Keywords:** seismic safety, mass explosion, buildings, quarry, vibration speed of soil particles, short delayed blasting , seismic effect, seismic waves, soil, deceleration intervals, initiation, dispersed borehole charges.

Підписано до друку 11.08.2020 р.

Формат 60х84/16. Умовн. арк..0,88.

Друк трафаретний (різографія). Наклад 100 прим.

Надруковано в Інституті гідромеханіки НАН України

03057, Україна, м.Київ-57, вул.М.Капніст 8/4